

## 論文の内容の要旨

論文題目	物流倉庫における作業効率向上のためのAR活用に関する研究
学位申請者	東條 紀子

国内物流市場は年々拡大している一方で、運輸業・郵便業の労働者の不足状況は12業種の中で最も高く、労働力不足が課題となっている。これを解決するため、倉庫業務の作業へのデバイス支援が期待されている。

コンピュータ等を用いて現実環境に対して、特定の現実環境に関する情報を付加する拡張現実 (AR) 技術は、近年のスマートデバイスの普及やソフトウェアの進化などから、タブレットや透過型ヘッドマウントディスプレイ (HMD) 等を用いたソリューションに活用されている。

そこで、物流分野での労働力強化のために、直感的な指示把握が可能なAR技術を活用して物流倉庫内の作業効率化を支援することを目指す。本研究では、ARを活用して効率的に作業効率化を図るために、特に生産性が課題となっているピッキング作業効率化へのAR適用をタブレットと透過型HMDで検証し、検証を通して物流倉庫でのAR実用化の範囲を明らかにする。

本論文は、以下のように構成される。第一章は序論として、研究の背景について述べ、研究の目的を明らかにする。第二章では、従来サービスや従来研究について論述し、その課題について議論する。第三章、四章、五章、六章は、論文の主内容として、物流でのピッキング作業効率化のためのAR活用の実用化について、ARシステムの開発と検証実験を通して分析する。第七章では、本研究の成果を総括する。

第三章は、物流倉庫におけるピッキング作業の作業効率向上のため、タブレットによるAR活用について論じる。タブレットによる検証としては、手で持つことに問題がなく、ピッキング作業の効率向上に効果があると考え、倉庫内のピッキング作業のロス要因を特定するための分析作業を対象とした。作業現場映像に分析データをコロプレスマップのARで重畳して表示し、現場の状況と照らし合わせて確認できる倉庫内可視化ツールを開発した。倉庫作業員、および分析者で、実際の倉庫で評価実験を行った。評価実験および複数の物流倉庫でのヒアリングを基に検証を行い、表示の分かりやすさ、分析の質、使用シーンの観点からAR表示の有効性を確認した。また、特定された要因に対して改善を

行うことで、ピッキング作業を約10%削減できることが明らかとなり、ツールの実用性を確認した。

第四章は、透過型HMDを用いたAR活用について論じる。ハンズフリーの効果が高く、ARの直感的な作業指示が可能と考え、ピッキング作業のAR指示を市販の透過型HMDで検証する。システムの開発では、事前検証を行い、課題として挙げられた処理速度の改善、表示位置の調整、UIの改善を行い、改善効果を確認した。改良したARピッキングシステムを用いて、中程度サイズの保管棚の模擬ピッキング環境で、ARによる指示及びテキストによる指示を表示したマルチピッキング作業での評価実験で比較検証した。AR指示における作業生産性は、テキストによる指示の半分程度であった。作業ミスについては、有意差は認められなかった。疲労度については、AR指示の疲労度が高く、注視時間を減らす工夫が必要であることが分かった。被験者は、AR指示の際に、指示表示を透過型HMDのディスプレイ領域に入れるため、下がって表示を確認しており、画角の狭さが障害になっていることが明らかとなった。このときに下がった距離と、HMDの表示画角から、本来必要な表示画角を算出した結果、透過型HMDの表示画角は約70度必要であることが示唆された。

第五章は、障壁と示唆された透過型HMDの表示画角の物流ピッキング時の生産性への影響について論じる。透過型HMDの表示画角の影響を明らかにするため、ARピッキングシステムの環境を再現したVRピッキングシステムを開発した。4パターンの表示画角と3サイズの間口をVR環境で再現し、テキスト指示および複数の表示画角でのAR指示によるマルチピッキング作業の実験を実施し、比較検証した。その結果、ARによる指示では、HMDの表示画角が作業生産性に影響していることが明らかとなった。テキスト指示を上回る作業生産性を実現するためには、透過型HMDの表示画角は40度、ピッキングの作業生産性を更に向上させるには、70度必要であることが明らかとなった。現状の市販の透過型HMDでは、表示画角70度を満たすものはなく、ハードウェアの進化が望まれる。

第六章は、これまでの取り組みから、物流倉庫での実用化の範囲を整理する。作業スピードやハンズフリーが求められない分析や教育などの作業には、タブレットでのAR活用の実用化が可能である。一方で、ピッキング作業のような作業スピードが求められる作業については、透過型HMDを用いたAR活用が望まれるが、透過型HMDの表示画角の観点から、AR以外の支援が有効である。作業スピードが求められる作業であっても、梱包・検品作業や移動を伴わない狭い範囲でのピッキング作業などの、現状の透過型HMDの画角に収まる範囲での作業であれば、透過型HMDを用いたAR活用が可能である。

第七章では本研究の成果を総括する。本研究では、物流倉庫で行われるピッキング作業の効率化を図るため、AR技術の活用を目指し、障壁や実用化の範囲について整理した。現状のハードウェアの進化が望まれる一方で、導入容易化技術の開発など、AR技術の活用の促進に向けて技術開発に努めたい。

## 論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 東條 紀子

審査委員主査 大須賀 昭彦

委員 広田 光一

委員 橋山 智訓

委員 橋本 直己

委員 野嶋 琢也

委員 田野 俊一

(\*自筆署名の場合に限り、押印省略可)

本論文では、物流分野での労働力強化のために、直感的な指示把握が可能なAR技術を活用して物流倉庫内の作業効率化を支援することを目指している。ARを活用して効率的に作業効率化を図るために、特に生産性が課題となっているピッキング作業効率化へのAR適用をタブレットと透過型HMDで検証し、検証を通して物流倉庫でのAR実用化の範囲を明らかにした。

ARを実用化したサービスは増えつつあるが、物流分野での活用事例は少ない。本研究では、物流倉庫でのタブレットと透過型HMDによるAR活用システムの開発および検証実験を通して、タブレットと透過型HMDでの実用範囲を明らかにしている。

また、透過型HMDを用いたARを活用するにあたり、ARとそれ以外の表示をどのように使い分けるかも明らかにしている。

具体的には、以下の3つの主内容から構成されている。

(1) 倉庫内分析データ可視化へのタブレットを用いたAR活用

ピッキング作業効率化のため、作業者が作業ロスの要因を特定するため、分析データをARで直感的に可視化する倉庫内可視化ツールを開発し、検証を行った。

(2) ピッキング作業指示への透過型HMDを用いたAR活用

市販の透過型HMDを用いたARピッキングシステムを開発し、ARピッキングにおける効果や障壁を明らかにした。

(3) 透過型HMDにおける画角の影響の分析

ARピッキングをVRで再現したVRピッキングシステムを開発し、ARピッキングにおける透過型HMDで必要となる表示画角やその影響を明らかにした。

第一章は序論として、研究の背景と物流分野およびARの動向を述べ、研究の目的とアプローチを明らかにしている。

第二章では、従来サービスや従来研究について論述し、その課題について議論している。

第三章は、物流倉庫におけるピッキング作業の作業効率向上のため、タブレットによる分析データの可視化へのAR活用について論じている。現場環境に起因した要因の特定を可能とするために、分析データをARにより可視化する倉庫内可視化ツールを開発し、実際の倉庫で検証している。ARを用いて、データ分析結果をタブレット上の作業現場映像に重畳して表示し、現場の状況と照らし合わせて確認することを可能とし、タブレットを使用したAR活用の実用性を明らかにしている。

第四章は、物流倉庫におけるピッキング作業の作業効率向上のため、透過型HMDを用いて直感的にピッキング作業指示を行うARピッキングシステムの開発について論じている。開発したARピッキングシステムを用いて、模擬ピッキング環境で、複数の仕分け先への商品を一度にピッキングするマルチピッキング作業を、倉庫作業者と研究者で行っており、その際、ARによる指示及びテキストによる指示を表示し、作業生産性、作業ミス、疲労度や表示画角について、比較検証している。

第五章は、四章のARピッキングシステムの検証により障壁と示唆された透過型HMDの表示画角の物流ピッキング時の生産性への影響について論じている。透過型HMDの表示画角の影響を明らかとするため、ARピッキングシステムの環境を再現したVRピッキングシステムを開発し、テキスト指示および複数の表示画角でのAR指示によるピッキング作業の実験を実施し、比較検証している。

第六章は、三章から五章の取り組みから、物流倉庫での実用化の範囲を整理している。

- (i) タブレットでは、分析データの可視化による分析作業支援で効果が認められた。このような作業スピードやハンズフリーが求められない分析や教育などの作業には、タブレットでのAR活用の実用化が可能である。
- (ii) ピッキング作業は移動を伴い作業範囲が広く、透過型HMDの表示画角などの観点から、実用化の水準には至らない。現在の透過型HMDでは、作業スピードが求められ作業範囲の広い作業では、AR表示ではなく、テキスト表示などのAR以外の指示表示を行う必要がある。
- (iii) 作業スピードが求められる作業であっても、梱包・検品作業や移動を伴わない狭い範囲でのピッキング作業などの、現状の透過型HMDの画角に収まる範囲での作業であれば、透過型HMDを用いたAR活用の実用化が可能である。

第七章では本研究の成果を総括している。

以上のように、本研究は、ピッキング作業効率化へのAR適用をタブレットと透過型HMDで検証し、検証を通して物流倉庫でのAR実用化の範囲を明らかにしている。これらの研究結果は、高い有用性が認められ、博士（工学）学位論文として十分な価値を有するものと認められる。